

# ÜBER DIE MORPHOLOGIE DER SYNAPSEN IM OBEREN HALSGANGLION DES MENSCHEN UND DER SÄUGETIERE

VON

V. P. BABMINDRA

Laboratorium f. Morphologie des I. P. Pawlow Institute für Physiologie der Akademie der Wissenschaften der UdSSR., Leningrad

(Dir.: Prof. Dr. N. G. KOLOSSOW)

Die Frage der interneuronalen Verbindungen gehört zu den wichtigsten Fragen der gegenwärtigen Neurohistologie; es liegen zwar zahlreiche Arbeiten vor, in denen die Frage der Verbindungen zwischen den Neuronen behandelt wird, doch sind unsere Kenntnisse über den Bau der Synapsen sehr mangelhaft.

Es wird berichtet über die Ergebnisse der histologischen Untersuchungen der oberen Halsganglien, die bei 84 menschlichen Leichen und 121 Versuchstieren (Katzen, Hunde, Pferde) unter verschiedenen Versuchsbedingungen entkommen worden sind. An Tieren sind die Untersuchungen in zwei Versuchsreihen ausgeführt worden: *a*) nach Durchschneidung des sympathischen Stranges am Halse und *b*) nach Benässung eines Halsganglions mit Terepentinöl mit einer gleichzeitigen Durchschneidung der praeganglionären Nervenfasern. In anderen Versuchen sind die Halsganglien von Katzen untersucht worden, die einen 5–10 Min. lang dauernden Herzstillstand überlebt hatten. Die wieder zum Leben gebrachten Katzen wurden später (nach 3–6 Tagen) getötet. Die Bearbeitung des Materials mit Silbermethoden und Färbung mit Methylenblau.

Die histologischen Untersuchungen haben ergeben, dass die Synapsen der Halsganglien nicht immer den gleichen Plan ihres Baues aufweisen. Entsprechend der Klassifikation von GIBSON (1940) unterscheiden wir zwei Typen von Synapsen: terminale Synapsen und transitorische Synapsen. Synapsen mit kleinem und mit grossem Transmissionsfeld nach W. KIRSCH (1954) und A. ÁBRAHÁM (1959).

Die terminalen Synapsen sind schleifen- oder kölbchenförmige Endigungen der dünnen praeganglionären Fasern (Abb. I). Sowohl der Form als auch der Grösse nach diese Synapsen sehr verschieden; es lassen sich kleine, mittelgrosse und grosse Schleifen und Ringchen, aber auch Kölbchen- und kugelförmige Synapsen beobachten. Es kommt recht oft vor, dass in ein und demselben Gesichtsfelde Synapsen von sehr verschiedener Form sich beobachten lassen angefangen von kleinen sehr feinen Ringchen bis zu sehr grossen Kolben. Es ist

nicht selten, dass man in einem Neuron Synapsen sieht, die sich der Form und der Grösse nach stark unterscheiden (Abb. 2). Wir sind überzeugt, dass unter pathologischen Bedingungen die Verschiedenheit der Synapsen ein Ausdruck der verschiedenen Grade des pathologischen Prozesses ist. In diesem Falle ist es aber schwer sich vorzustellen, dass die Endigungen einer und derselben praeganglionaren Faser sich voneinander so stark unterscheiden könn-

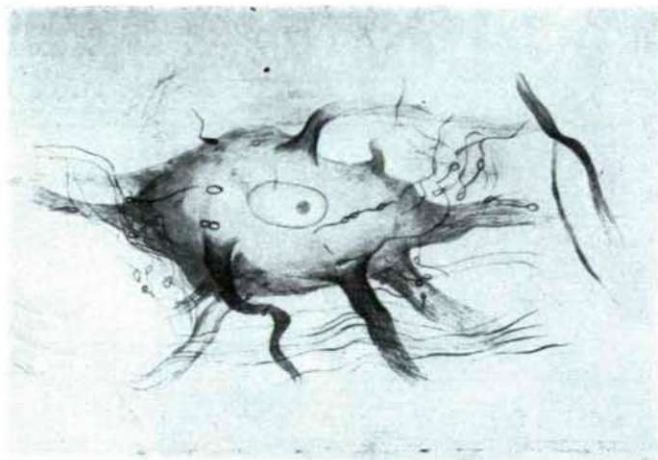


Abb. 1. Das obere Halsganglion einer geschlechtsreifen Katze. Synaptische Endigungen in der Form von kleinen Ringchen, Schleifen und Knöpfchen; sie liegen dem Körper und den Fortsätzen der Nervenzellen an. Bearbeitung des Materials nach der Methode von DEINEKA. Ob. 90, Ok. 15.

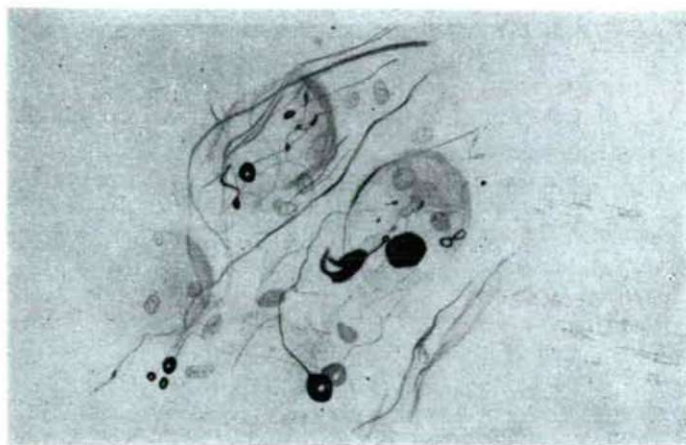


Abb. 2. Synapsen in verschiedenen Grösse und Formen im oberen Halsganglion eines 59-jährigen Mannes, der infolge der Hypertonie gestorben war. Bearbeitung des Materials nach BIELSCHOWSKY—GROS—LAWRENTJEW. Ob. 60, Ok. 7.



ten; aus diesem Grunde erscheint uns die Annahme zulässig, dass in einem Neuron Endigungen von zwei oder mehreren praeganglionären Fasern sein können.

Die Grösse der terminalen Synapsen schwankt zwischen 2 und 20  $\mu$ . Unter normalen Verhältnissen beobachtet man gewöhnlich kleine Synapsen (2–7  $\mu$ ), in pathologischen Fällen sind sie bedeutend grösser (8–20  $\mu$ ). In diesen letzten Fällen sieht man vorwiegend oval- und kugelförmige Elemente, Ringchen- und Schleifen ähnliche Formen sind bedeutend seltener. Die ovalförmigen Synapsen von grösseren Dimensionen muss man von verdickten Endigungen der Dendriten ganglionärer Zellen unterscheiden (das sogen. Kugelphenomän von CAJAL). Um gewisse Kennzeichen zu finden, die diese Differenzierung erleichtern könnten, haben wir das „Kugelphenomän“ sowohl am pathologischen sectionischen Material als auch in Tierversuchen eingehend untersucht. In Tierversuch wurde das obere Halsganglion mit einer Lösung von Terepentinöl benässt. Etwa zwei Wochen nach diesem Eingriff liessen sich unregelmässig geformte verdickte Auswüchse der Dendriten der Ganglienzellen beobachten. Die dendritischen Kugeln durchwachsen das Ganglion in ungeordneter Weise; in einigen Fällen können sie in einer Nachbarschaft sein oder sogar in Berührung mit Neuronen.

Vor vielen Jahren hat es gegolten, dass in den Ganglien die grossen kugel- und kolbenähnlichen Elemente reaktive Verdichtungen der Fortsätze der ganglionären Zellen darstellen. Gegenwärtig ist man geneigt diese Strukturen als Synapsen zu betrachten. Unserer Meinung nach, muss man mit einer grösseren Bestimmtheit einerseits die Endigungen der praeganglionären Fasern und andererseits die „Kugelphenomäne“ voneinander unterscheiden; sollten hierbei Fehler zugelassen werden, so könnte dieser Umstand eine fehlerhafte Deutung der Struktur des vegetativen Nervensystems zur Folge haben (z. B. in der Frage über das Vorhandensein von intraganglionären synaptischen Konnektionen zwischen den Neuronen).

In der vorliegenden Arbeit haben wir den Versuch gemacht, solche Kennzeichen zu finden, die es ermöglichen könnten, die als Resultat von Reizungen entstehenden Kugeln von hypertrophierten Synapsen zu differenzieren. Als derartige Merkmale können ausgenutzt werden:

1. Die Stelle, an der diese Strukturen sich befinden: die synaptischen Endigungen sind unter der Kapsel des Neurons gelegen; die dendritischen Kugeln durchdringen die Kapsel nicht.

2. Die Dicke der praeterterminalen Faser: die synaptischen Strukturen stehen in Verbindung mit dünneren Fasern als die „Kugelphenomäne“. Es muss aber hervorgehoben werden, dass in pathologischen Fällen die praesynaptische Faser ebenfalls dick sein kann, doch wird ihr Durchmesser weiter von der Endigung geringer; der Durchmesser der mit einer dendritischen Kugel in Verbindung stehenden Faser ändert sich entweder garnicht oder wird sogar grösser.

3. Die Intensität der Impregnation der genannten Bildungen: die Färbung der Dendriten entspricht der Färbung der Neuronzellen jedenfalls die Verschiedenheit der Färbung ist nicht so bedeutend, wie es in synaptischen Strukturen der Fall ist.

4. Die perifibrillare Substanz lässt sich in synaptischen Endigungen bedeutend häufiger beobachten als in der Umgebung der dendritischen Kugeln (BAMINDRA V. P., 1958).

Man muss aber damit rechnen, dass einzig und allein genommen keinen von dieser Merkmale ein absoluter Wert zukommt; aber die Gesamtheit dieser Kennzeichen macht es möglich, die hypertrophierten kugelförmigen Synapsen von den dendritischen Kugeln zu differenzieren.

Die Menge der Synapsen an einem Neuron schwankt von 1–2 (dieses beobachtet man am Häufigsten) bis 20–30–40 und mehr. Wir haben ein Neuron mit 42 Synapsen gesehen, die ihm und den Dendriten anlagen (Abb. 3). Diese Synapsen bilden etwa 1/6 der gesamten Oberfläche des Neurons.

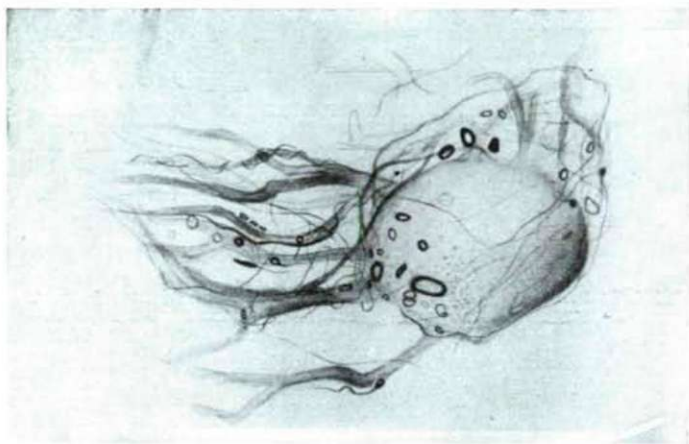


Abb. 3. Synapsen an der Oberfläche eines Neuron. Der obere Halsganglion eines 52-jährigen Mannes. *Causa mortis-hepatitis* (LAENNEC). Bearbeitung des Materials nach BIELSCHOWSKY—GROS—LAWRENTJEW. Ob. 60, Ok. 15.

Die transitorischen Synapsen haben eine Form von Ringchen oder Variositäten der dünnen Nervenfasern, die den Neuronenleib umringen. In einigen Fällen liess sich ein Übergang von dünnen synaptischen Fasern von einem Neuron auf einen andern beobachten. Es muss hervorgehoben werden, dass bei Bearbeitung des histologischen Materials mit der Silbermethode in der Regel nur die terminalen Synapsen deutlich sichtbar werden; bei der Färbung mit Methylenblau werden die transitorischen Synapsen gut erkenntlich. Doch ist es uns gelungen nach einer 6 Monate langen Fixierung das Materials in einer 12%igen neutralen Formalinlösung mit Hilfe der Methode von BIELSCHOWSKY—GROS ein Bild der perizellularen Apparate zu erhalten, das dem Bilde sehr ähnlich ist, das man im Falle der Färbung mit Methylenblau erhält; dabei sind die praesynaptischen Fäserchen gröber und dicker und treten auf der Oberfläche der schwach gefärbten Zellen deutlich hervor (Abb. 4, 5).

Die Synapsen bestehen, wie es auch andere Forscher beobachtet hatten (KOBLOW, G. A., 1952; KOLOSSOW, N. G., 1954; KIRSCH 1956) aus zwei Komponenten: ein neurofibrilläres Stroma und ein protoplasmatischer Teil der Endigung-perifibrillare Substanz. Auf schwach impregnierten Praeparaten erscheint das neurofibrillare Stroma als ein dichter Knäuel, der aus eng zusammengeflochtenen Neurofibrillen besteht. Die perifibrillare Substanz umzingt das neurofibrillare Stroma von allen Seiten und bildet eine helle homo-



gene Masse (Abb. 6). Die Menge und die Form der perifibrillaren Substanz können verschieden sein.

Die Versuchsergebnisse, die wir an Katzen erhalten haben, weisen auf ein ausgesprochenes Reaktionsvermögen der Synapsen hin; bei Katzen die nach einem 5–10 Min. langen Herzstillstand wieder belebt wurden, konnten eine Argentophilie und ein Anschwellen der Synapsen beobachtet werden. Ein ähnliches Bild konnte bereits nach Verlauf von 24 Stunden nach Durchschneidung der praeganglionären Fasern beobachtet werden.

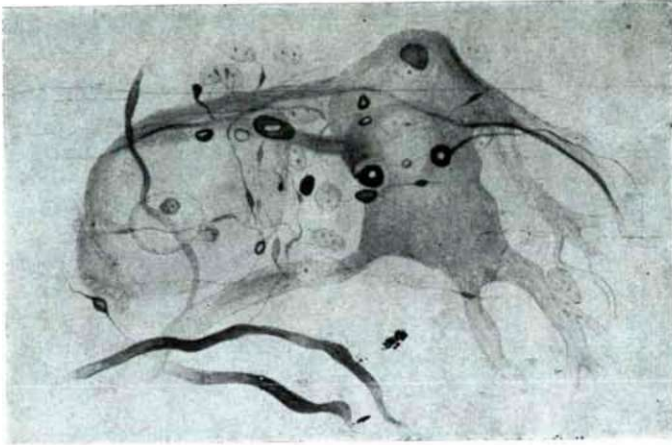


Abb. 4. Transitorische und terminale Synapsen an einem Neuron des oberen Halsganglions eines 52-jährigen Mannes. *Causa mortis-carcinoma duodeni*. Die terminalen Synapsen sind in ihren Formen und Grösse verschieden. Färbung nach BIELSCHOWSKY—GROS. Mikroskop B. Y.—I. Ob. 90, Ok. 10.

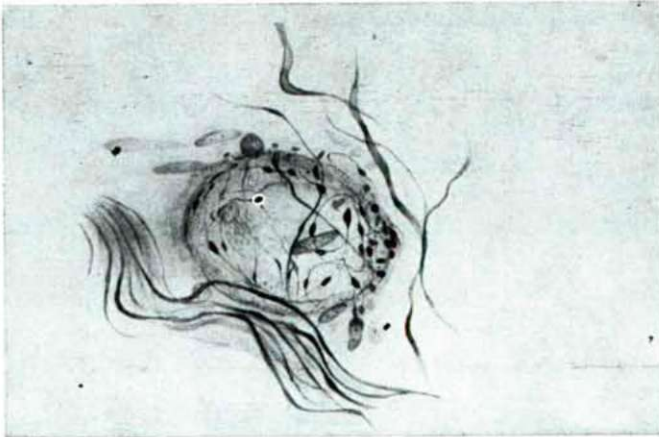


Abb. 5. Transitorische Synapsen am Leibe eines Neurons des oberen Halsganglions einer Katze. Färbung nach BIELSCHOWSKY—GROS. Fixierung im Laufe von 6 Monaten. MBI—3, Ob. 90, Ok. 7.

Nach Verlauf von 24 Stunden können bestimmte Veränderungen in den dünnen markhaltigen Nervenfasern festgestellt werden (ein periaxonaler Prozess). Die Umrisse der Fasern werden weniger scharf; an einigen Stellen lässt sich ein Zerfall der markhaltigen Hülle beobachten. In den Axonen treten zu dieser Zeit keine Veränderungen auf. Nach Verlauf von 48 Stunden werden



Abb. 6. Eine synaptische Endigung an einem Neuron. Die perifibrilläre Substanz ist deutlich sichtbar. Oberes Halsganglion eines 47-jährigen Mannes, der infolge einer akuten Herzinsuffizienz gestorben ist. Färbung nach BIELSCHOWSKY—GROS—LAWRENTJEW. Ob. 90, Ok. 20. Mikrophoto nicht retuschieren.

die Synapsen noch dicker; die Argentophilie wird noch deutlicher ausgeprägt; die Öffnungen in den Ringchen werden enger; ein Teil dieser Elemente ist geschrumpft; die Umrisse werden weniger scharf. Die synaptischen Bildungen erreichen im Durchmesser 4–6  $\mu$  d-h- sie werden doppelt so gross, als vor dem operativen Eingriff. Zu dieser Zeit tritt eine Antrennung der Schleifchen von den praeterminalen Fasern ein; der grössere Teil der Synapsen erhält die Form von isolierten Ringchen oder Knöpfchen. Wenn die praeterminalen Fäserchen an einigen Stellen noch erhalten bleiben, so sind sie vakuolisiert oder haben die Form eines punktierten Schnürchens. Fast alle Fasern, aus denen das intercellulare Geflecht gebildet ist, erleiden merkliche Veränderungen: die markhaltige Hülle erleidet einen segmentären Zerfall, die Axonen sind ungleichmässig gefärbt, ihr Durchmesser ist von verschiedener Weite.

In den meisten Synapsen, die am dritten Tage nach der Durchschneidung der praeganglionären Fasern gefunden werden kann das Anfangsstadium eines körnigen Zerfalls bemerkt werden. In diesem Stadium lassen sich ringchenförmige Elemente nur selten sehen; dieses hängt aller Wahrscheinlichkeit davon

ab, dass diese Elemente eine knöpfchenartige Form erhalten; sie liegen häufchenweise und haben eine grosse Ähnlichkeit mit einem Silber Sediment. Die Axonen der praeganglionären Fasern sind fragmentiert.

Im Prozess der Degeneration der Synapsen erleiden keine Veränderungen die Grösse der Ganglionzellen, die Grösse und der Befindungsort der Kerne, die Dicke und die Färbung der Neurofibrillen.

### Schrifttum

- ABRAHÁM, A.: Zu Frage der interneuronalen Synapsen in den vegetativen Ganglien. Ztschr. f. mikr.-anat. Forsch., Leipzig, Bd, 65, H. 4. S. 574—581, 1959.
- BABMINDRA, V. P.: Über die Verbindungen der oberen sympathischen Halsganglions mit dem Zentralnervensystem. Diss. Leningrad, 1958 (russisch).
- GIBSON, W. C.: Degeneration and regeneration of sympathetic synapses. Journ. of Neurophysiol., 3, (1940). 237—247.
- KIRSCH, W.: Sympatische Formationen in Ganglion stellare des Menschen. Ztschr. f. mikr.-anat. Forsch., 60, (1954), 399—466.
- KIRSCH, W.: Sympatische Formationen in den Ganglia lumbalia des Truncus sympathicus vom Menschen einschliesslich Bemerkungen über den heutigen Stand der Neuronenlehre. Z. f. mikr.-anat. Forsch., 64, (1958), 708—759.
- KOBLOW, G. A.: Über den Bau der pericellularen Apparate des vegetativen Nervensystem. Arch. f. Anat., Histol., u. Embryol., 29 (1952), 31—36 (russisch.).
- KOLOSSOW, N. G.: Die Innervation der inneren Organe und des Herz-Blutgefässsystems. Verlag der Akad. d. Wissenschaften d. Ud. SSR. Moskau (1954), (russisch.).